

- 1 -

## 明 細 書

## 光 検 出 素 子

## 5 技術分野

本発明は、光伝導性物質とカーボンナノチューブを組み合わせた光検出素子に関するものである。

## 背景技術

10 一般に、光検出素子とは、光または電磁波のエネルギーを電気的なエネルギーに変換するもので、従来の光検出素子には、半導体を主材料とするフォトダイオード、アバランシェフォトダイオード、フォトトランジスタ、フォトMOS、CCDセンサ、CMOSセンサや、光電効果を利用した光電子増倍管などがある。

15 前者の半導体光検出素子は、光照射によって発生したキャリアすなわち電子または正孔を直接あるいは増幅して外部電流として取り出すものと、光照射によって発生した少数キャリアを所定箇所に蓄積し、それが作る局所電場により多数キャリアの流れを変調すること、外部出力として取り出すものがある。

20 なお、カーボンナノチューブを用いた検出器の提案やカーボンナノチューブの光特性に関する報告として、下記のような特許文献ならびに非特許文献を挙げることができる。

(特許文献1) 特開2003-517604号

(非特許文献1) J.Kong, N.R.Franklin, C.Zhou,

25 M.G.Chapline, S.Peng, K.Cho, H.Dai, 'Nanotube Molecular Wires as Chemical Sensors', Science Vol. 287 (January 2000) P.622-625

(非特許文献2) P.G.Collins, K.Bradley, M.Ishigami,

30 A.Zettl, 'Extreme Oxygen Sensitivity of Electronic Properties of Carbon Nanotubes', Science Vol. 287

- 2 -

(January 2000) P.1801-1804

(非特許文献3) I.A.Levitsky, W.B.Euler,

'Photoconductivity of single-wall carbon nanotubes under continuous-wave near-infrared illumination' Applied Physics

5 Letters, Vol.83 (September 2003) P.1857-1859

## 発明の開示

上記の従来の光検出素子は、伝導層や蓄積層としてn型半導体やp型半導体あるいは金属や絶縁体を複雑に組み合わせた構造を用い  
ねばならない。そのため作製が困難で、ドーピング条件等の最適条  
10 件が狭い範囲に制限されているため、歩留りも悪く、コスト高にな  
るという問題があった。さらに従来の半導体光検出素子は、材料の  
選択に限られているエピタキシャル成長で作製するため、狭い波長  
範囲でしか感度を有しないという欠点もあった。また後者の光電子  
15 増倍管は、真空容器を必要とするためアレイ化や小型化が困難であ  
る。

前記特許文献1および非特許文献1, 2に開示された内容はカー  
ボンナノチューブを検出素子として用いた例ではあるが、ガスを検  
出するものであって、光検出素子として用いる内容ではない。また  
20 非特許文献3に開示された内容は、カーボンナノチューブに照射さ  
れた光によるカーボンナノチューブの光電流を測定した例であって、  
後述する本発明と動作原理が異なるばかりでなく、感度波長領域が  
狭く、感度も低い。

本発明はこうした従来の実情に鑑み、望ましくはより広い波長範  
25 囲に対しても高感度を示し、高速応答を呈し、低消費電力を実現し、  
簡単に要部が構築できる構造原理を持つ製造コストの低い、新たな  
光検出素子を提供することを目的とするものである。

前記目的を達成するため本発明の第1の手段は、光または電磁波  
の照射により内部にキャリアを発生する例えばシリコン、ゲルマニ  
30 ウム、ガリウム砒素、インジウムガリウム砒素、インジウム燐など

の光伝導性物質と、その光伝導性物質と対応して設けられたカーボンナノチューブとを有し、光または電磁波の照射により前記光伝導物質内に発生したキャリアを前記カーボンナノチューブの電気伝導の変化により検出することを特徴とするものである。

- 5 本発明の第2の手段は前記第1の手段において、前記光伝導性物質として、例えばシリコン、ゲルマニウム、ガリウム砒素、インジウムガリウム砒素、インジウム燐などのグループから選択された異なった波長範囲に光伝導性を有する複数種類の光伝導性物質による単層構造または多層構造を有することを特徴とするものである。
- 10 本発明の第3の手段は前記第1の手段または第2の手段において、前記多層構造が、光または電磁波の照射を受ける側にエネルギーギャップのより広い光伝導性物質からなる膜を形成するようになって

- いることを特徴とするものである。
- 15 本発明の第4の手段は前記第1ないし第3の手段において、前記光伝導性物質とカーボンナノチューブの間に例えば酸化シリコンなどの透明または半透明の絶縁層が形成されていることを特徴とするものである。

- 本発明の第5の手段は前記第1ないし第4の手段において、その光検出素子が電界効果トランジスタ構造または単電子トランジスタ構造を有することを特徴とするものである。
- 20 本発明の第6の手段は前記第5の手段において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記光伝導性物質の下部にゲート電極を設けた構造であることを特徴とするものである。

- 25 本発明の第7の手段は前記第5の手段において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記カーボンナノチューブの上部にゲート電極を設けた構造であることを特徴とするものである。

本発明の第8の手段は前記第5の手段において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記カーボンナノチューブの近傍にゲート電極を設けた構造であることを特徴とするものである。

- 30 本発明の第9の手段は前記第1の手段ないし第8の手段において、前

記カーボンナノチューブの両端に接続される電極を有し、その両電極が櫛形で互いに対向するように配置されて、その両電極間に前記カーボンナノチューブが多数並列に接続されていることを特徴とするものである。

- 5 本発明の第 10 の手段は前記第 1 ないし第 9 の手段において、前記光または電磁波が照射される側上に集光レンズが配置されていることを特徴とするものである。

- 本発明は前述のような構成になっており、構造が単純で、簡単な方法で製作が可能で、広い波長範囲で高感度を有する光検出素子を提供することができる。
- 10

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施形態に係る光検出素子の光検出原理を説明するための図である。

- 15 図 2 は、本発明の第 1 実施形態に係る光検出素子の斜視図である。

図 3 は、その光検出素子の断面図である。

図 4 は、本発明の第 2 実施形態に係る光検出素子の断面図である。

図 5 は、本発明の第 3 実施形態に係る光検出素子の断面図である。

図 6 は、本発明の第 4 実施形態に係る光検出素子の断面図である。

- 20 図 7 は、本発明の第 5 実施形態に係る光検出素子の斜視図である。

図 8 は、本発明の実施形態に係る光検出素子の波長感度特性例を示す図である。

図 9 は、本発明の実施形態に係る光検出素子の温度感度特性例を示す図である。

- 25 図 10 は、本発明の実施形態に係る光検出素子のゲート電圧特性例を示す図である。

図 11 は、本発明の第 6 実施形態に係る光検出素子の平面図である。

- 30 図 12 は、本発明の第 7 実施形態に係る光検出デバイスの断面図である。

図 1 3 は、本発明の第 8 実施形態に係る光検出デバイスの断面図である。

図 1 4 は、本発明の第 9 実施形態に係る光検出デバイスの断面図である。

5 図 1 5 は、本発明の実施形態に係る光検出素子を用いた光信号処理回路の概略構成図である。

図 1 6 は、本発明の実施形態に係る光検出素子をイメージセンサに用いた例を示す概略構成図である。

10 発明を実施するための最良の形態

次に本発明の実施形態を図とともに説明する。図 1 は、本発明の実施形態に係る光検出素子の光検出原理を説明するための図である。

同図 (a) に示すように、光伝導性物質 1 の近辺にカーボンナノチューブ 2 を設置する。この光伝導性物質 1 に対して光あるいは電  
15 磁波 3 を照射することにより、同図 (b) に示すように光伝導性物質 1 内でキャリア 4 が発生する。そしてこのキャリア 4 が発する電束線 5 [同図 (c) 参照] がカーボンナノチューブ 2 の電気伝導に影響を与え、光伝導性物質 1 に照射された光あるいは電磁波 3 の存在あるいはその強度を、カーボンナノチューブ 2 の電気伝導の変化  
20 として検出することができる。

従って、光あるいは電磁波 3 を照射した時に発生したキャリア 4 の数が少なくても、キャリア 4 が発する電束線 5 をカーボンナノチューブ 2 により検出するため、高感度の検出が可能となる。

また、長距離に拡がる電束線 5 を検出するため、局所的にキャリアを蓄積する部分が必要とせず、そのための構造やキャリアを蓄積  
25 するための余分な電力の消耗がないという特長も有している。

図 2 と図 3 は本発明の第 1 実施形態を説明するための図で、図 2 は光検出素子の斜視図、図 3 はその光検出素子の断面図である。

これらの図に示すように、光伝導性物質 1 の上に絶縁層 6 を介し  
30 てカーボンナノチューブ 2 を形成し、カーボンナノチューブ 2 の両

端に適当な電圧を印加するための電極 7, 7 を設ける。

本実施形態の場合、光伝導性を持つシリコン基板（光伝導性物質 1）を用い、その上に酸化シリコンの絶縁層 6 を形成し、その上にカーボンナノチューブ 2 を配置した。

- 5    5    なお、光伝導性物質 1 は、分子線エピタキシー装置（MBE 装置）などの真空蒸着装置や有機金属気相成長装置（MOCVD）などの化学気相成長装置（CVD 装置）を用い、結晶成長により作製することもできる。光伝導性物質 1 は、n 型でも、p 型でも、半絶縁性でも構わない。

- 10    前記絶縁層 6 は、透明または半透明の材料が用いられる。そして図 3 に示すように、絶縁層 6 を通して光伝導性物質 1 に光あるいは電磁波 3 を照射することによって発生したキャリア 4 は、光伝導性物質 1 内に存在していればよく、カーボンナノチューブ 2 に流れ込む必要は必ずしもない。なお、光の入射方向は、光検出素子の下面
- 15    や側面からでも良い。

- 図 4 は、本発明の第 2 実施形態を説明するための光検出素子の断面図である。本実施形態の場合、異なった波長範囲に光伝導性を有する複数種類の光伝導性物質 1 a ~ 1 e の多層構造 8 を採用している。このようにすれば、それぞれの光伝導性物質 1 がもつ光感度波
- 20    長範囲の全てにわたって感度を有する光検出素子を作製することができる。

- 光伝導性物質 1 における光感度波長範囲の一例を示せば次の通りである。シリコン（Si）：200 ~ 1100 nm、ゲルマニウム（Ge）：500 ~ 1500 nm、ガリウム砒素（GaAs）：2
- 25    00 ~ 900 nm、インジウムガリウム砒素（InGaAs）：650 ~ 2900 nm、インジウム砒素（InAs）：1300 ~ 3900 nm。

- その他、例えばアルミニウム砒素（AlAs）、アルミニウムガリウム砒素（AlGaAs）、インジウムアルミニウム砒素（In
- 30    AlAs）、ガリウム砒素燐（GaAsP）、インジウムガリウム

砒素磷 (InGaAsP)、インジウムアンチモン (InSb)、  
水銀カドミウムテルル (HgCdTe)、鉛セレン (PbSe)、  
鉛硫黄 (PbS)、カドミウムセレン (CdSe)、カドミウム硫  
黄 (CdS)、ガリウム窒素 (GaN)、インジウムガリウム窒素  
5 (InGaN)、アルミニウム窒素 (AlN)、シリコンカーバイ  
ト (SiC) などによる無数の組み合わせが可能である。各種光伝  
導性物質 1 の組み合わせ (組成比) により、感度波長が変化する。  
各層の膜厚は、数ナノメートルから数ミクロンメートルが適当である。  
膜厚は厚い方が感度領域体積が増えるが、余り厚くすると製膜に時  
10 間がかかるため、前述の範囲が適当である。

図 4 に示すように、光あるいは電磁波 3 を上から照射する場合、光  
伝導性物質 1 の有効利用という観点から、エネルギーギャップの広  
いものほど上側に配置した方が効率は良い。例えば下側からインジ  
ウムガリウム砒素 (InGaAs) 膜、ガリウム砒素 (GaAs)  
15 膜、アルミニウム砒素 (AlAs) 膜の順に積層される。但し、必  
ずしもこのように配置する必要はなく、必要な光応答特性や個々の  
材料の特性に応じて、積層する膜の順番や膜の厚さ、膜の数を適宜  
設定すれば良い。

本実施形態では多層構造 8 としたが、異なった波長範囲に光伝導  
20 性を有する複数種類の光伝導性物質 1 を必要な光応答特性や個々の  
材料の特性に応じて適宜混合して構成した単層構造のものでも、そ  
れぞれの光伝導性物質 1 がもつ光感度波長範囲の全てにわたって感  
度を有する光検出素子を作製することができる。

本発明に係る光検出素子は、非常に簡単な構成でありながら、光  
25 あるいは電磁波の照射によって発生したキャリアから発する電束線  
が、絶縁層を介して設置されたカーボンナノチューブの電気伝導に  
影響するような構成になっているから、高感度に光あるいは電磁波  
の照射を検出することができる。

図 5 は、本発明の第 3 実施形態を説明するための光検出素子の断  
30 面図である。本実施形態の場合、光伝導性物質 1 の下部にゲート電

極 9 を設けて、電界効果トランジスタ構造としている。

図 6 は、本発明の第 4 実施形態を説明するための光検出素子の断面図である。本実施形態の場合、カーボンナノチューブ 2 の上部に絶縁層 6 を介してゲート電極 9 を設けて、電界効果トランジスタ構造としている。

図 7 は、本発明の第 5 実施形態を説明するための光検出素子の斜視図である。本実施形態の場合、絶縁層 6 の上部でカーボンナノチューブ 2 の近傍にゲート電極 9 を設けて、電界効果トランジスタ構造としている。

10 前述のような実施形態のように、光伝導性物質 1 またはカーボンナノチューブ 2 にゲート電極 9 を形成して、電界効果トランジスタ構造とすることで、光あるいは電磁波の照射によってカーボンナノチューブ 2 を流れる電流の変化を大きくすることができる。

また、カーボンナノチューブとして、カーボンナノチューブ内を  
15 流れるキャリアの数を 1 個単位に制限するカーボンナノチューブ単電子トランジスタを用いることにより、暗電流を下げても高感度となり、単一フォントの測定までも可能となる。

光伝導性物質はカーボンナノチューブの下に在っても良いが、上に在っても良く、塗布による形成方法を採用すれば、簡便に光検出素子を作製できる。この場合、光伝導性物質を樹脂などに溶かして  
20 塗布すれば、光検出素子の作製がより容易である。前述の樹脂はバインダーとして機能するもので、例えばアクリル樹脂やエポキシ樹脂などの透明な樹脂が好適である。また光伝導性物質 1 の層を着色することにより、感度波長域を制限する色フィルターの機能を持た  
25 せることも可能である。

図 8 は、前記第 1 実施形態に係る光検出素子（図 2，図 3 参照）の室温における波長感度特性例を示す図である。ここでは、光伝導性物質 1 としてシリコンを、絶縁層 6 として酸化シリコンをそれぞれ用い、絶縁層 6 の上にカーボンナノチューブ 2 を形成し、カーボンナノチューブ 2 の両端に作製した 2 つの電極 7，7 間に適当な電  
30



圧（本実施形態ではドレン電圧 2 V）を印加した。そしてそのときにカーボンナノチューブ 2 に流れる電流変化から求められる光感度を、光伝導性物質 1 に照射した光の波長に対して示している。

この図に示す光感度波長はシリコンのものであり、波長 600 nm 付近で光強度は 15 A/W に達しており、従来のシリコンフォトダイオードの約 20 倍という非常に高い光感度を有している。

図 9 は、この光検出素子の温度感度特性例を示す図である。この時の測定条件は、ドレイン電圧を 2 V とし、波長 600 nm の光を使用し、各温度における光感度を測定した。同図に示すように、この光検出素子の測定温度を調整することにより高い光感度が得られ、測定温度を 175 ~ 250 K の範囲に調整することにより光感度を 60 A/W 以上に高めることができ、特に測定温度を 200 ~ 225 K の範囲に調整することにより 80 A/W まで光感度を上げることができる。なお、図 2 と図 3 において、カーボンナノチューブに完全に光が当たらないようにして同様な測定をしても、同様な結果が得られた。

また図 2 と図 3 において、その他の構造は同一としてカーボンナノチューブ 2 のみを作製しない構造では、電気伝導が見られないだけでなく、光検出素子としての動作を示さなかった。

本発明の光検出素子において、例えば図 6 または図 7 に示すようにカーボンナノチューブの近辺にゲート電極を形成し、電界効果トランジスタ構造とすることで、光伝導性物質やカーボンナノチューブ内の電子数を制御し、ドレイン電流や光電流を調整することで、光検出素子の感度調整をすることができる。

図 10 は、電界効果トランジスタ構造を有する光検出素子において、ゲート電圧を変化させたときの室温におけるドレイン電流ならびに光電流の変化を示す特性図である。この図から明らかなように、電界効果トランジスタ構造を有する光検出素子のゲート電圧を調整することにより、光電流の高い強度を得ることができ、感度を高くできる。

本発明の光検出素子は容易に複数個直列あるいは並列に接続することができるので、出力をさらに大きくすることができる。図 1 1 は、本発明の第 6 実施形態を説明するための光検出素子の平面図である。本実施形態の場合、絶縁層 6 の上に楕形の 2 つの電極 7, 7 がある。本実施形態の場合、絶縁層 6 の上に楕形の 2 つの電極 7, 7 を対向するように設けて、電極 7, 7 間にカーボンナノチューブ 2 を多数並列に接続している。このようにすることにより、光検出素子の出力を大きくすることができる。

図 1 2 は、本発明の第 7 実施形態を説明するための光検出デバイスの断面図である。本実施形態は前記実施形態の光検出素子を用いたより具体的な構造を示しており、光検出素子をステム 1 1 上に接着固定する。このステム 1 1 には外部回路に接続するための複数本のリード電極 1 2 a ~ c が支持されており、光検出素子の電極 7 とリード電極 1 2 a, 1 2 b がリード線 1 4 を介して電氣的に接続されている。ステム 1 1 上の光検出素子は、窓 1 5 を接着剤 1 6 で固定した保護用のキャップ 1 7 で覆われ、キャップ 1 7 の下部はステム 1 1 に溶接または接着固定されている。

この窓 1 5 付きのキャップ 1 7 とステム 1 1 で囲まれた空間を真空状態（減圧状態）にするか、あるいは窒素ガスやアルゴンガスなどの不活性ガスで満たすことにより、光検出素子の耐久性を増し、安定化を図ることができる。

本実施形態の場合、下部にゲート電極 9 を有する光検出素子が用いられ、そのゲート電極 9 が導電性ペースト 1 0 により金属製のステム 1 1 に固定され、そのステム 1 1 にはリード電極 1 2 c が直接固定されているから、ゲート電極 9 は導電性ペースト 1 0 と金属製ステム 1 1 を介してリード電極 1 2 c に電氣的に接続されている。本実施形態の場合、金属製ステム 1 1 と前記リード電極 1 2 a, 1 2 b は絶縁碍子 1 3 で電氣的に絶縁されている。

図 1 3 は、本発明の第 8 実施形態を説明するための光検出デバイスの断面図である。本実施形態は、前記の窓 1 5 の一部あるいは全部をレンズ体 1 8 で構成している。なお、レンズ体 1 8 の凸部は下

面でも構わないし、上下両面にあってもよい。

図 1 4 は、本発明の第 9 実施形態を説明するための光検出デバイスの断面図である。本実施形態は、ステム 1 1 上の光検出素子を透明な合成樹脂で封入し、その形状をレンズ体 1 8 としている。この  
5 ようにレンズ体 1 8 を用いれば、光検出素子の受光部により多くの光 3 を集めて、光感度を上げることができる。また光検出素子を合成樹脂で封入することにより、光検出素子の耐久性を増し、安定化を図ることができる。

本発明の光検出素子は容易に複数個直列あるいは並列に接続することができるので、1 次元、2 次元あるいは 3 次元のイメージセン  
10 サとして使用することもできる。

さらに出力電流が大きくとれるため図 1 5 に示すように、本発明の光検出素子 1 9 に電導線 2 0 を介して発光ダイオードなどの発光素子 2 1 と電源 2 2 を接続するだけで、増幅器を介さずに、発光素  
15 子 2 1 を直接駆動することもできる。

この際、光出力 2 4 を光入力 2 3 よりも大きくすることができるので、暗視カメラとして用いたり、図 1 6 に示すような 2 次元の光増幅器あるいはイメージ増幅器や光メモリとしてアナログやデジタルの光信号処理回路への応用も可能である。図 1 6 において、2 5  
20 は多数の光検出素子 1 9 を 2 次元に配列したイメージセンサ、2 6 はイメージセンサ 2 5 (光検出素子 1 9) に電導線 2 0 で接続されたディスプレイである。

本発明の光検出素子において、光伝導性物質を任意に選択することにより、任意の波長の光または電磁波に応答する光検出素子を構成  
25 することができる。また、カーボンナノチューブの大きさ、数または長さを任意に制御することにより、任意の増倍率を有する光検出素子を構成することができる。

前記実施形態ではカーボンナノチューブを面内に形成したが、カーボンナノチューブを埋め込む形で垂直型構造にすることも可能で、  
30 その場合、他の素子との積層化が容易にできる。

またカーボンナノチューブは、素子の中央部に設ける必要はなく、端に寄っていても構わない。カーボンナノチューブの形状も直線状である必要はなく、例えば波状あるいは螺旋状などのように曲がっていても構わない。

- 5     またカーボンナノチューブを多数並列に並べれば、感度が上がるだけでなく、全体の抵抗が小さくなるため、流し得る電流を大きくすることができる。この際、カーボンナノチューブは互いに交叉したり枝分かれしていてもよい。

- 10    前記実施形態ではシリコン上に酸化シリコンを介してカーボンナノチューブを形成した場合について示したが、シリコンやゲルマニウムなどの単元素の他、ガリウム砒素やインジウムガリウム砒素あるいはインジウム燐などの化合物を用いたもの、あるいはそれらを量子井戸構造またはヘテロ接合構造で形成した単層構造や多層構造を基本とするもの、あるいは他の物質と組み合わせたものなど、光  
15    または電磁波の照射により内部にキャリアを発生する光伝導性物質であれば、それが絶縁体、誘電体、磁性体、あるいはn型またはp型の半導体であっても、同様の素子を作製することができる。

- 特に図4に示す第2実施形態のように、感度波長領域の異なる複数種類の光伝導性物質を多層にした構造を採用すれば、一個の光検  
20    出素子で広い波長範囲の検出が可能である。

- なお多層構造にする場合、エピタキシャル成長の必要がないため、材料の選択範囲が広がる。従って、光伝導性物質の多層構造化が容易であるばかりでなく、光伝導性物質を多結晶化したりアモルファス化したりすることで、キャリアの緩和速度を速くすれば、高速動作が可能となる。

- 25    多層構造は、水平に設置する必要はなく、垂直配置でも構わない。また必ずしも層構造である必要はなく、多重構造であれば立体構造にしても構わない。

- 前記実施形態において、絶縁層6は必ずしも必要でないが、絶縁  
30    層6を設けることにより、暗電流を少なくする効果がある。前記実

施形態では絶縁層 6 として酸化シリコンを用いが、その他、窒化シリコンや透明または半透明のガラスや樹脂なども使用可能である。また、ノンドープガリウム砒素、ノンドープアルミニウム砒素などの不純物を実質的に含まない半導体材料も薄ければ使用可能である。

- 5 前記実施形態において、外部と接続するための電極 7 はカーボンナノチューブ 2 と接していればよく、必ずしも光伝導性物質 1 と電気的に接続する必要はない。

- 10 本発明は、例えば高感度光検出素子、光スイッチング素子、アレイ化による一次元、二次元あるいは三次元のイメージセンサやそれを用いた精密計測装置、高感度カメラ、暗視カメラ、発光素子との組み合わせによるフォトカプラやフォトインタラクティブなどの位置検出素子、光演算回路用の光増幅器など各種技術分野への応用が可能である。

15

20

25

30

## 請 求 の 範 囲

1. 光または電磁波の照射により内部にキャリアを発生する光伝導性物質と、カーボンナノチューブとを有し、光または電磁波の照射により前記光伝導物質内に発生したキャリアを前記カーボンナノチューブの電気伝導の変化により検出することを特徴とする光検出素子。  
5
2. 請求の範囲 1 記載の光検出素子において、前記光伝導性物質として、異なった波長範囲に光伝導性を有する複数種類の光伝導性物質による単層構造または多層構造を有することを特徴とする光検出素子。  
10
3. 請求の範囲 2 記載の光検出素子において、前記多層構造が、光または電磁波の照射を受ける側にエネルギーギャップのより広い光伝導性物質からなる膜を形成するようになっていることを特徴とする光検出素子。  
15
4. 請求の範囲 1 ないし 3 のいずれか 1 項記載の光検出素子において、前記光伝導性物質とカーボンナノチューブの間に透明または半透明の絶縁層が形成されていることを特徴とする光検出素子。
5. 請求の範囲 1 ないし 4 のいずれか 1 項記載の光検出素子において、その光検出素子が電界効果トランジスタ構造または単電子トランジスタ構造を有することを特徴とする光検出素子。  
20
6. 請求の範囲 5 記載の光検出素子において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記光伝導性物質の下部にゲート電極を設けた構造であることを特徴とする光検出素子。
7. 請求の範囲 5 記載の光検出素子において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記カーボンナノチューブの上部にゲート電極を設けた構造であることを特徴とする光検出素子。  
25
8. 請求の範囲 5 記載の光検出素子において、前記電界効果トランジスタ構造が、前記カーボンナノチューブの近傍にゲート電極を設けた構造であることを特徴とする光検出素子。  
30

9. 請求の範囲 1 ないし 8 のいずれか 1 項記載の光検出素子において、前記カーボンナノチューブの両端に接続される電極を有し、その両電極が楕形で互いに対向するように配置されて、その両電極間に前記カーボンナノチューブが多数並列に接続されていることを特徴とする光検出素子。
- 5 10. 請求の範囲 1 ないし 9 のいずれか 1 項記載の光検出素子において、前記光または電磁波が照射される側上に集光レンズが配置されていることを特徴とする光検出素子。

10

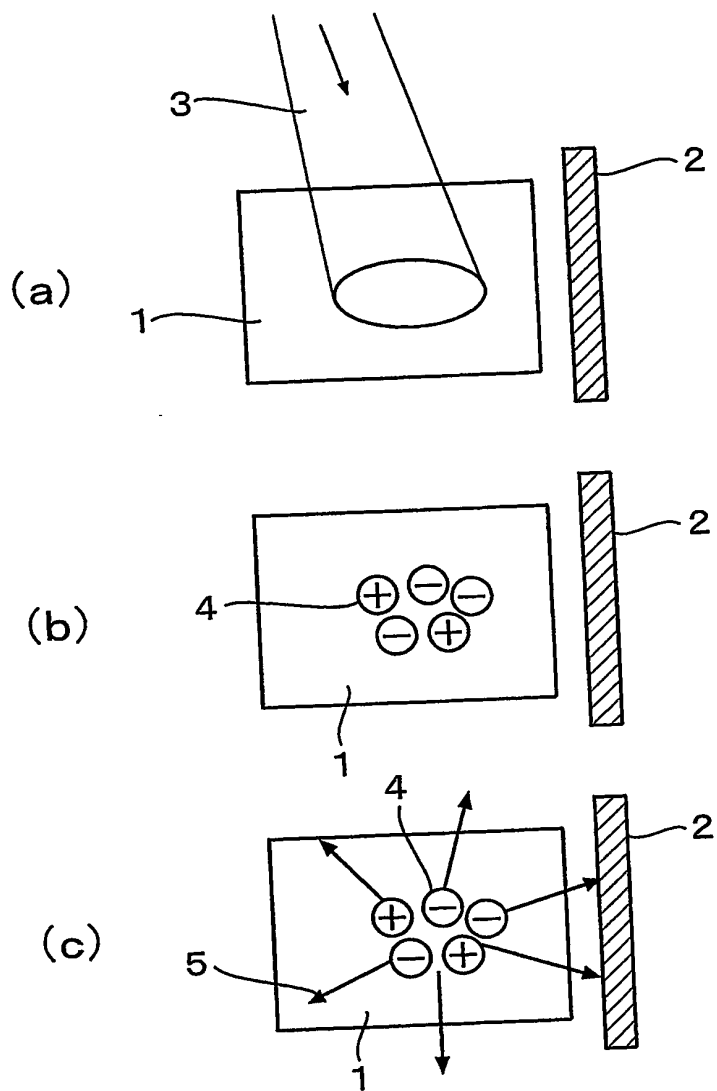
15

20

25

30

図 1





2/8

図 2

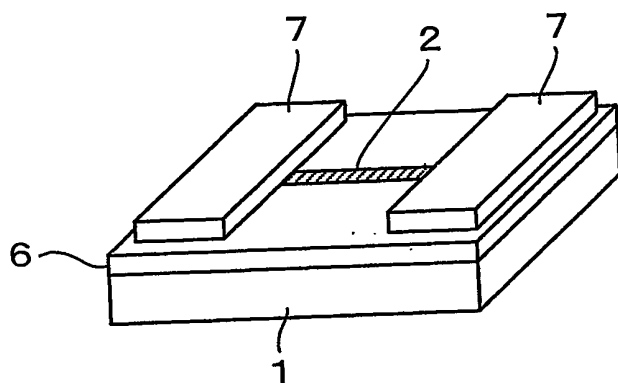


図 3

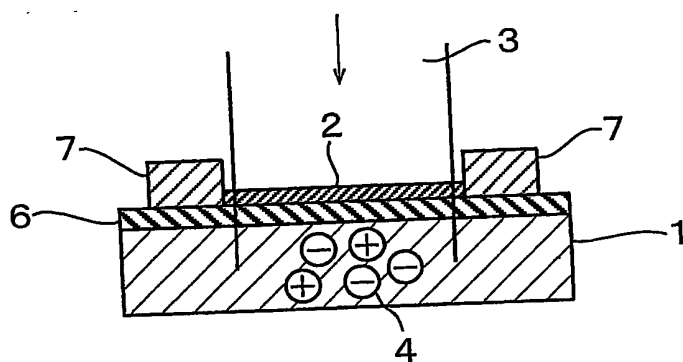


図 4

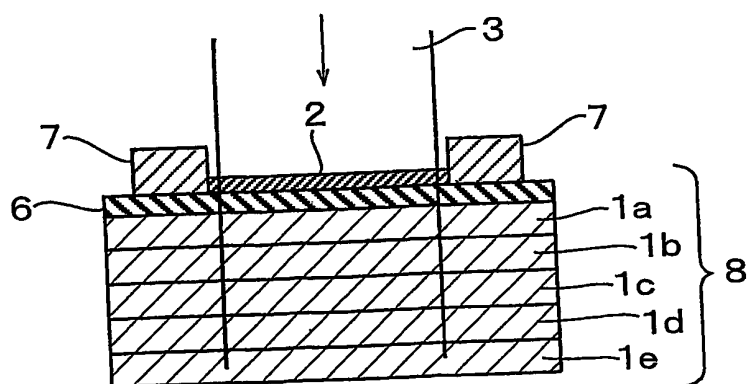


図 5

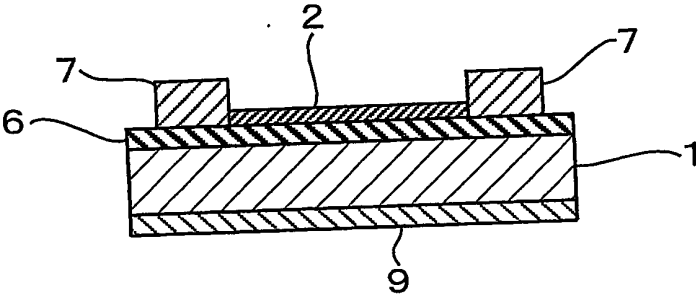


図 6

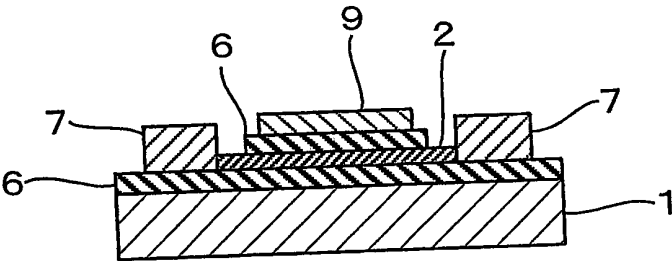
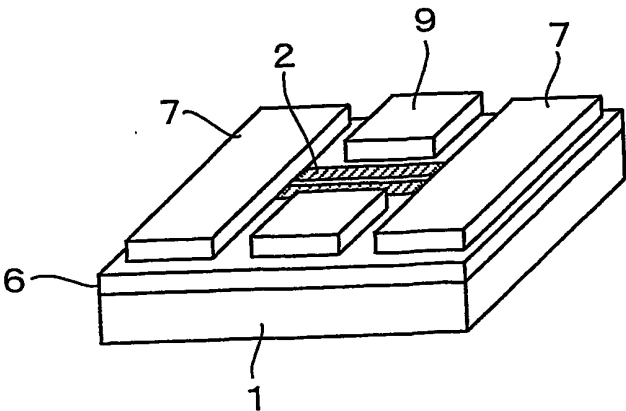


図 7



4/8

図 8

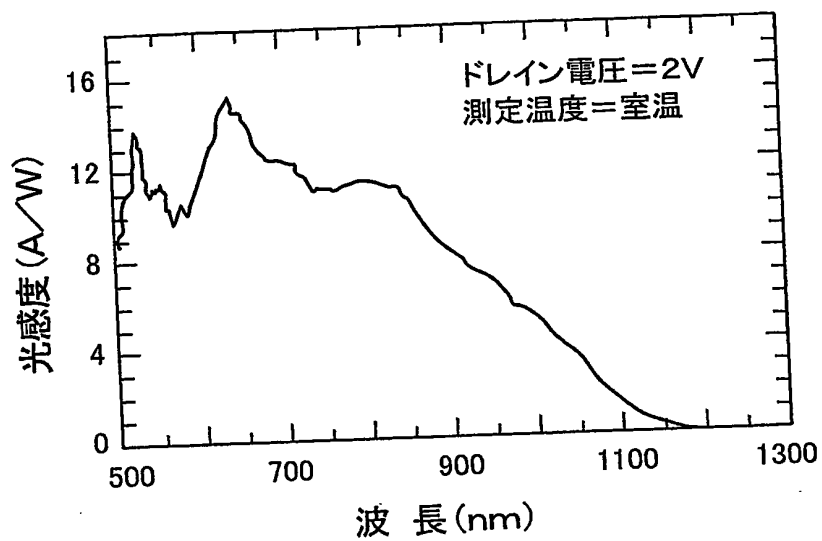
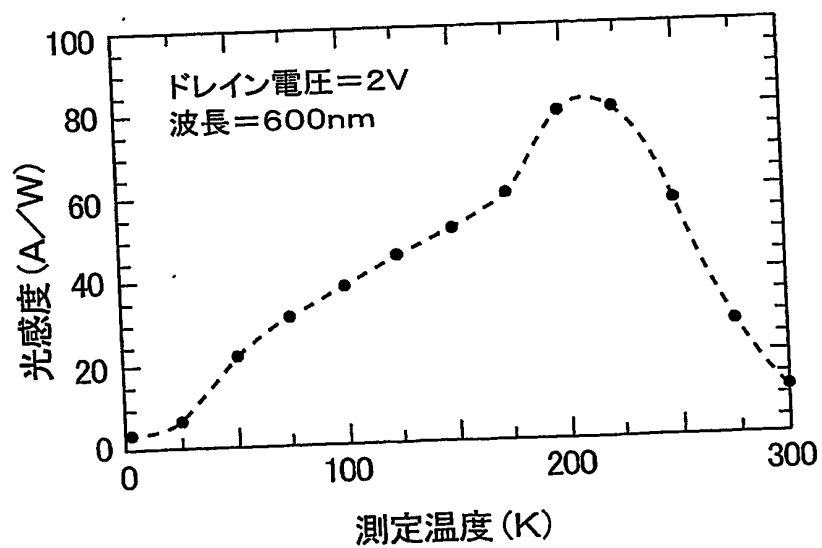


図 9



5/8

図 1 0

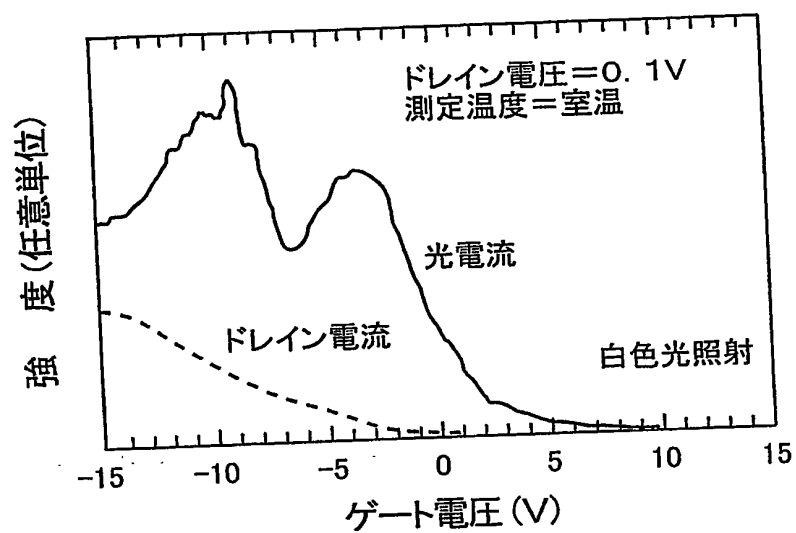


図 1 1

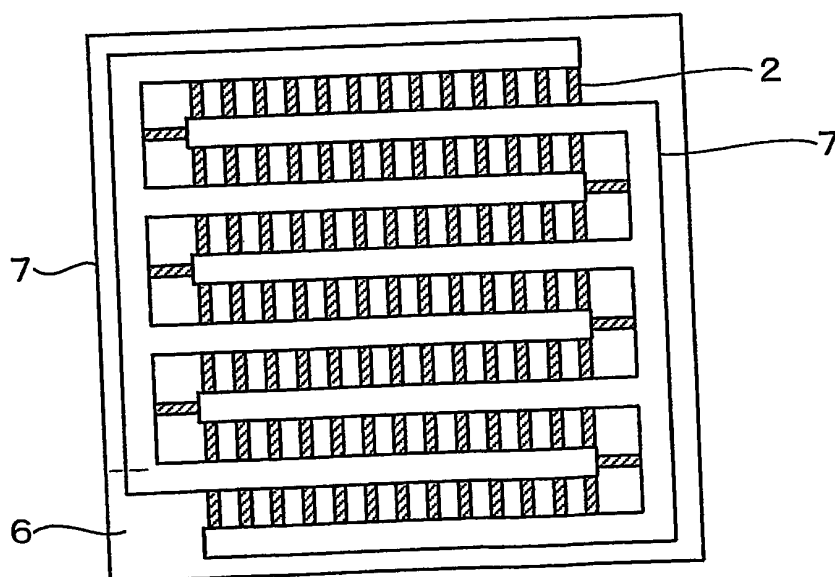
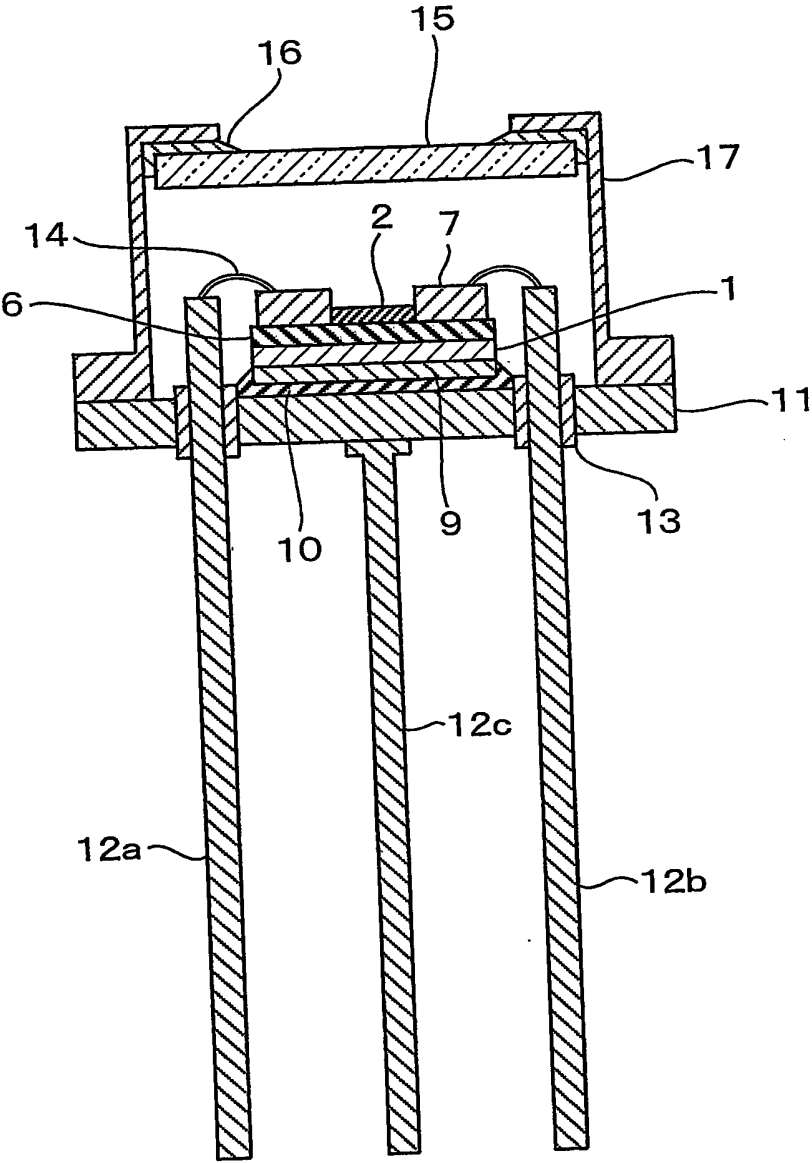


図 1 2



7/8

図 1 3

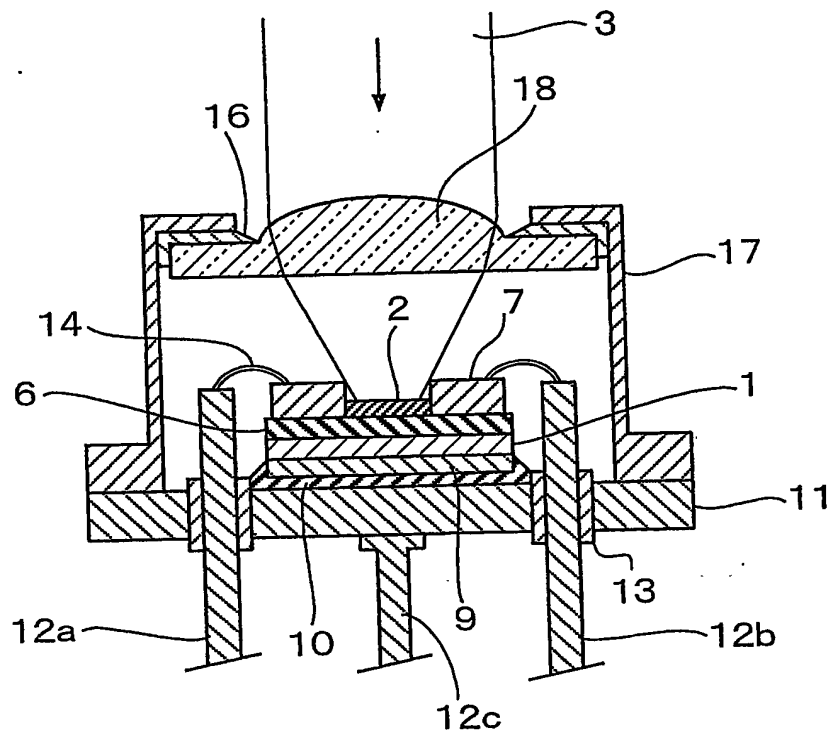
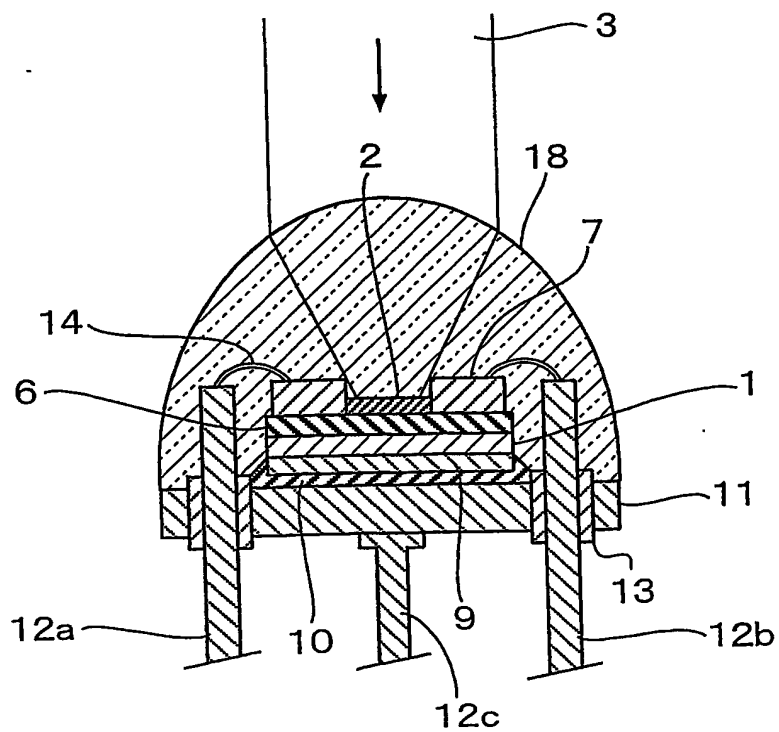


図 1 4



8/8

図 1 5

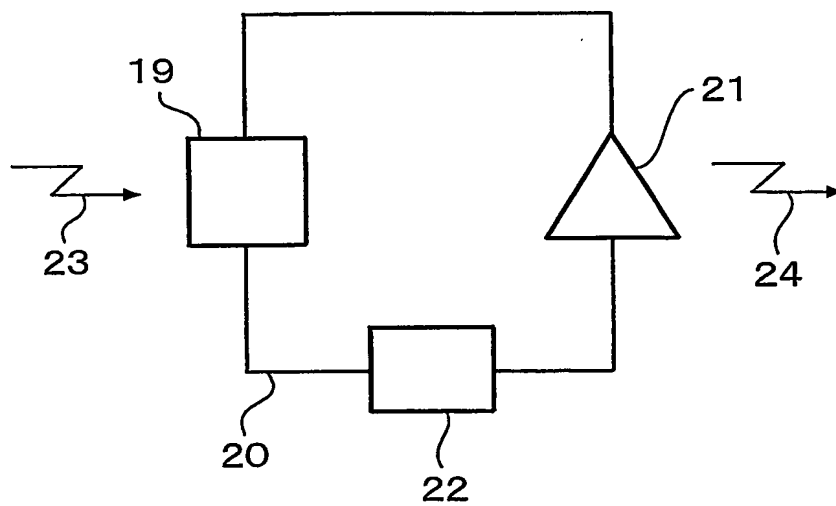
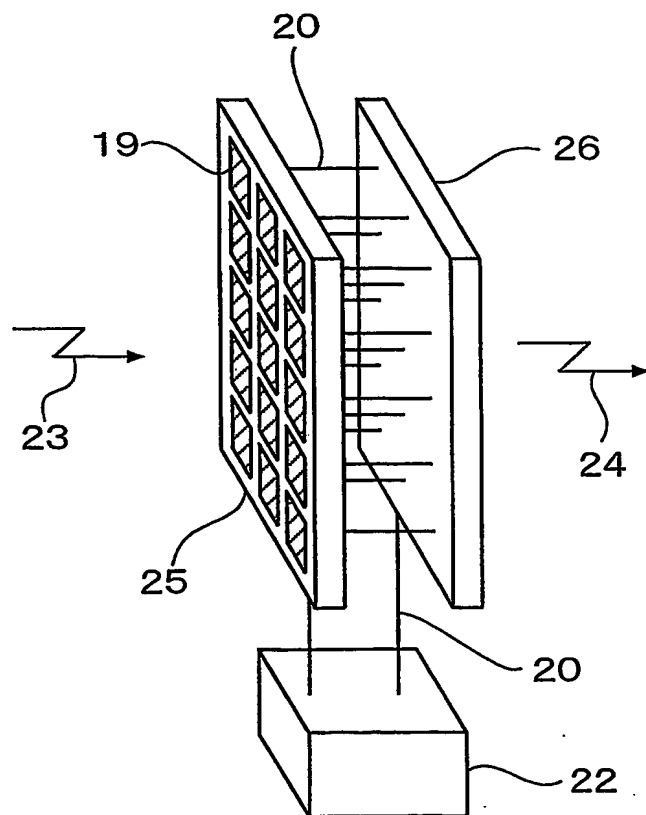


図 1 6



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010428

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> H01L31/09, 51/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> H01L31, 51		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/054505 A (International Business Machines), 11 July, 2002 (11.07.02), & CA 2341064 A & US 6423583 B & EP 1350277 A & JP 2004-517489 A & TW 523797 A	1-10
A	WO 01/44796 A (The Leland Stanford Junior University), 21 June, 2001 (21.06.01), & EP 1247089 A & US 6528020 B & JP 2003-517604 A	1-10
A	JP 2003-517604 A (Konica Corp.), 27 June, 2003 (27.06.03), & EP 1291932 A & US 2003/0047729 A	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 August, 2004 (27.08.04)		Date of mailing of the international search report 28 September, 2004 (28.09.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/010428

**C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	R. Martel et al., "Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors", Applied Physics Letters, Vol.73, No.17, 26 October, 2000 (26.10.00), pages 2447 to 2449	1-10
P,X P,Y P,A	WO 2004/013915 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 12 February, 2004 (12.02.04), (Family: none)	1,4-6,8 7,10 2-3,9
P,A	JP 2003-303978 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 24 October, 2003 (24.10.03), & US 2003/0189235 A & EP 1353387 A	1-10
P,A	JP 2003-282924 A (Fujitsu Ltd.), 03 October, 2003 (03.10.03), (Family: none)	1-10
P,A	M. Shim et al., "Photoinduced conductivity changes in carbon nanotube transistors", Applied Physics Letters, Vol.83, No.17, 27 October, 2003 (27.10.03), pages 3564 to 3566	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl <sup>7</sup> H01L31/09, 51/00			
B. 調査を行った分野			
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))			
Int. Cl <sup>7</sup> H01L31, 51			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの			
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
A	WO 02/054505 A (International Business Machines) 2002. 07. 11 & CA 2341064 A & US 6423583 B & EP 1350277 A & JP 2004-517489 A & TW 523797 A	1-10	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの		「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献	
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日		国際調査報告の発送日	
27. 08. 2004		28. 9. 2004	
国際調査機関の名称及びあて先		特許庁審査官 (権限のある職員)	
日本国特許庁 (ISA/JP)		浜田 聖司	
郵便番号100-8915		2K	9207
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		電話番号 03-3581-1101 内線 3253	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	WO 01/44796 A (The Leland Stanford Junior University) 2001. 06. 21 & EP 1247089 A & US 6528020 B & JP 2003-517604 A	1-10
A	JP 2003-517604 A (コニカ株式会社) 2003. 06. 27 & EP 1291932 A & US 2003/0047729 A	1-10
A	R. Martel et al., "Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors", Applied Physics Letters, Vol.73, No.17, 26 October 2000, p.2447-2449	1-10
PX PY PA	WO 2004/013915 A (三洋電機株式会社) 2004. 02. 12 (ファミリーなし)	1, 4-6, 8 7, 10 2-3, 9
PA	JP 2003-303978 A (富士ゼロックス株式会社) 2003. 10. 24 & US 2003/0189235 A & EP 1353387 A	1-10
PA	JP 2003-282924 A (富士通株式会社) 2003. 10. 03 (ファミリーなし)	1-10
PA	M.Shim et al., "Photoinduced conductiy changes in carbon nanotube transistors", Applied Physics Letters, Vol.83, No.17, 27 October 2003, p.3564-3566	1-10